

Kosten- und Risiko-Analyse bei Bauprojekten – Der Trugschluss der exakten Zahl

Dipl.-Ing. Dr. Philip Sander / Dipl.-Ing. Dr. Markus Spiegl

1. Einleitung

Risiko-Analysen dienen der Beurteilung der identifizierten Risiken hinsichtlich ihrer Bedeutung für das Erreichen der Projektziele. Damit können die Ressourcen für die Steuerungsmaßnahmen auf wesentliche Risiken fokussiert werden

Gerade bei großen öffentlichen Projekten mit einer hohen Komplexität ist die Skepsis oft sehr groß, dass die Kosten bereits im Vorfeld in der richtigen Höhe prognostiziert werden können. Begründet ist dieser Zweifel durch eine große Anzahl von negativen Beispielen in der Vergangenheit. Aus dieser Thematik ergeben sich folgende Fragen:

- Warum können Projekte nicht zu den Kosten errichtet werden, die zu Beginn prognostiziert wurden?
- Warum scheint es so, als ob Kosten generell nur nach oben abweichen?

Der Grund, weshalb diese Fragen nicht eindeutig beantwortet werden können, liegt an der Vielzahl der einwirkenden Faktoren. Oftmals liegt die Ursache jedoch auch in der Anwendung unzureichender Methoden zur Kostenermittlung und Risiko-Analyse.¹

2. Methoden zur quantitativen Risiko-Analyse

Bei quantitativen Verfahren wird für die Eintrittswahrscheinlichkeit ein konkreter Wert in Prozent und für die finanzielle Auswirkung (Tragweite) ein Wert (z. B. in Euro) angegeben. Generell wird zwischen deterministischen und probabilistischen Verfahren unterschieden.

Beim deterministischen Verfahren wird ein Risiko als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit [p] und Auswirkung [A] gesehen. Das Produkt ist der Erwartungswert des Schadens. Wenn mehrere Risiken zusammengefasst werden sollen, errechnet sich das Gesamtrisiko aus der Summe der einzelnen Erwartungswerte. Somit ergibt sich für die Berechnung von Risiken folgende Formel:

$$R_{Ges} = \sum p_i \cdot A_i$$

Bei Anwendung von probabilistischen Methoden kann die finanzielle Auswirkung des Risikos, aber nicht nur durch einen einzelnen Wert, sondern durch eine Verteilungsdichte modelliert werden. Die Verdichtung der Risiken kann daraufhin nicht mehr mittels einfacher Addition der Erwartungswerte erfolgen, sondern es bedarf Simulationsverfahren

¹ Reilly, J. J. „Cost Estimating and Risk-Management for Underground Projects“, World Tunnel Congress, Istanbul, Mai 2005

	Deterministische Methode	Probabilistische Methode
Eingabe	Angabe einer konkreten Zahl für die Eintrittswahrscheinlichkeit und für die Auswirkung jedes Risikos.	Die Bewertung von Risiken erfordert einen Eingabewert für die Eintrittswahrscheinlichkeit und beispielsweise drei Werte für die Auswirkung (minimale, erwartete und maximale). Damit wird eine unscharfe Erwartungshaltung bei der Risikobewertung berücksichtigt.
Ergebnis	Eine einfache Summe aus den Erwartungswerten der Einzelrisiken (Auswirkung x Eintrittswahrscheinlichkeit) liefert als Ergebnis den Erwartungswert des Gesamtrisikos nicht aber den wahrscheinlichsten Risikoschaden.	Das Simulationsverfahren liefert die Bandbreite des Gesamtprojektrisikos als Wahrscheinlichkeitsverteilung basierend auf mehreren tausend zufälligen aber realistischen Szenarien. (Abbildung realistischer Risiko-Kombinationen)
Aussage	Das Ergebnis ist ein scharfer Wert, von dem nicht gesagt werden kann, mit welcher Wahrscheinlichkeit er eintreten wird.	Aus der resultierenden Wahrscheinlichkeitsverteilung kann eine Prognose für ein bestimmtes Risiko-Potenzial abgelesen werden, z. B. 80 % Unterschreitungswahrscheinlichkeit.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der deterministischen und probabilistischen Methode²

(Monte-Carlo-Simulation, Latin Hypercube Sampling) welche die Risiken zu einer Wahrscheinlichkeitsverteilung verdichten, die das gesamte Risikopotenzial abbildet.

Die Anwendung probabilistischer Verfahren ist, bedingt durch die Verwendung einer geeigneten Software zur Durchführung der Simulationen, aufwendiger im Vergleich zur Deterministik, bei der eine simple Excel-Tabelle ausreichend ist. Bei genauerer Analyse der Ergebnisse der Methoden aus Tabelle 1 lassen sich folgende grundlegenden Punkte zusammenfassen, die den Einsatz von probabilistischen Verfahren rechtfertigen oder sogar unumgänglich machen³:

- Beim deterministischen Verfahren werden Risiken mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit und hoher Auswirkung, den Risi-

ken mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit und geringer Auswirkung durch die einfache Multiplikation der beiden Determinanten gleichgesetzt. Diese Herangehensweise ist nicht zielführend.

- Bei der Verdichtung der Risiken geht das Wertepaar Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung verloren. Als Ergebnis bleibt nur der Erwartungswert für die monetäre Auswirkung. Das Verfahren eignet sich daher nicht für die Verdichtung von Risiken über mehrere Stufen hinweg, für die wiederholt auf die Eingangswerte aus niedrigerer Stufe zurückgegriffen werden muss.
- In der Realität ergibt sich in der Regel eine andere Auswirkung als der Erwartungswert, den das deterministische Verfahren ermittelt. Auf Grund der fehlenden Wahrschein-

² Sander, P. „Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte“, Innsbruck university press, Innsbruck, 2012, ISBN: 978-3-902811-75-2

³ Tecklenburg, T.: Risikomanagement bei der Akquisition von Großprojekten in der Bauwirtschaft, Schöling Verlag, Münster, 2003

lichkeitsinformation lässt sich nicht bestimmen, wie gut eigentlich der Erwartungswert ist, d. h. mit welcher Wahrscheinlichkeit dieser unter- bzw. überschritten wird.

3. Berücksichtigung von Unschärfen

Da empirische Daten, gerade bei Risiko-Analysen, oftmals nicht zur Verfügung stehen, kann die Eintrittswahrscheinlichkeit und die finanzielle Auswirkung oftmals nur durch Experten eingeschätzt werden. Bei Anwendung von probabilistischen Methoden kann die finanzielle Auswirkung des Risikos aber nicht nur durch einen einzelnen Wert, sondern durch eine Verteilungsdichte modelliert werden. Auf diese Weise können die Unschärfen berücksichtigt werden.⁴

Mit Verwendung probabilistischer Methoden ist es möglich, den tatsächlichen Wissensstand über Risiken und Kosten zu jeder Projektphase mittels der Verteilungsdichten (größere bei höheren Unschärfen bzw. klei-

neren bei geringeren Unschärfen) abzubilden. Dadurch kann die Realität wesentlich besser modelliert werden, als durch einen einzigen deterministischen Wert. Die realistischen Informationen des Ergebnisses bieten eine bessere Basis für Handlungsentscheidungen.⁵

In Abbildung 1 ist eine solche Verteilungsdichte dargestellt. Die Kosten werden hier zwischen 10T€ und 50T€ geschätzt und sind zusätzlich noch gewichtet. So wird als wahrscheinlichster Wert 25T€ prognostiziert.

Kostenprognosen für die Zukunft sind unscharfe Probleme. Gerade in frühen Projektphasen ist dies der Fall, wo weder die exakten Mengen noch die genauen Kosten bzw. Preise bekannt sind. Mengen werden eingangs durch Grobelemente ermittelt. Eine Feingliederung ist auf Grund des geringen Kenntnisstands in dieser Projektphase meist noch nicht vorhanden. Bei einem deterministischen Vorgehen werden Informationen über eine mögliche Abweichung (nach oben oder unten) vom ein-

getragenen Wert der Mengenvordersätze und der möglichen Kosten nicht berücksichtigt, obwohl diese Informationen oftmals vorliegen bzw. leicht abzuschätzen sind.

Liegt allerdings die Information über eine mögliche Kostenbandbreite unter Berücksichtigung von Unschärfen vor (Wahrscheinlichkeitsverteilung), so ist dem Bauherrn ersichtlich, welche

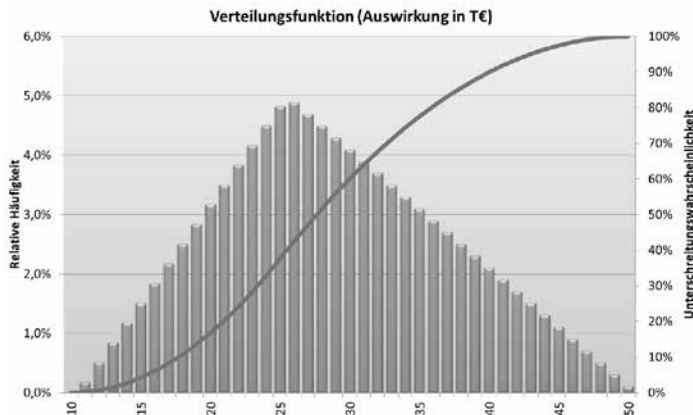


Abbildung 1: Verteilungsdichte mit gewichteten Werten mittels Dreiecksfunktion in der Bandbreite 10-25-50T€

⁴ Girmscheid G. „Risikomodell (RA-Modell): Zeitliche Risikobelastung – Der kritische Erfolgsfaktor für Private Public Partnerships Teil 2“, Artikel, in: Bauingenieur Band 86, April 2011, Seite 175–185

⁵ Gürtler, V. „Stochastische Risikobetrachtung bei PPP-Projekten“, Dissertation, TU Dresden, expert verlag, 2007

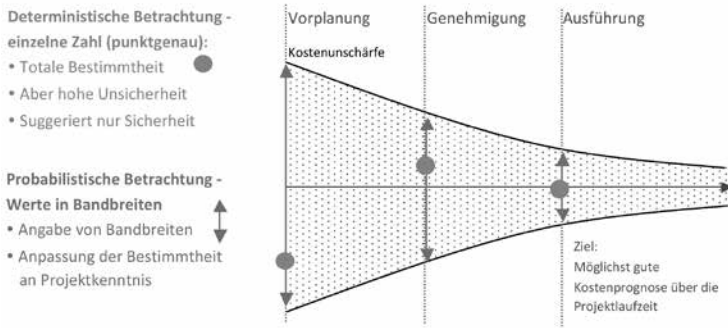


Abbildung 2: Gegenüberstellung deterministische und probabilistische Methode im Projektverlauf

Kosten mit welcher zugehörigen Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden sollten. Er kann dann das Budget für Kosten und Risiken, in Übereinstimmung mit seiner eigenen Risikobereitschaft, bestimmen und entsprechend berücksichtigen.

Die unbestimmteren Aussagen bei Verwendung von Verteilungen mögen auf den ersten Blick gegenüber dem total bestimmten deterministischen Wert unsicherer erscheinen – genau das Gegenteil ist allerdings der Fall.⁶

Die Sicherheit einer Vorhersage steigt, je geringer ihr Bestimmtheitsgrad ist, d. h. je allgemeiner sie formuliert ist. Umgekehrt weist eine sehr bestimmte Information, wie die präzise Angabe eines fixen Wertes, einen hohen Grad der Unsicherheit auf.^{3 (S. 10)}

Diese Problematik untersucht auch RESCHER in seinem philosophisch-ökonomischen Kommentar „Wissenschaftlicher Fortschritt – Eine Studie über die Ökonomie der Forschung“:

Im Bereich der Prognose scheint eine Art von Unschärfepinzipp zu wirken. [...] Den

Menschen betreffend extensive Voraussagen kann man nur um den Preis sinkender Genauigkeit machen – indem man niedrige Ansprüche an die Detailgenauigkeit des Quotienten Spezifität/Generalität stellt.⁷

Es lässt sich zusammenfassen: Je mehr eine Prognose determiniert wird, also je exakter z. B. Kosten angegeben werden, desto unsicherer

ist die Prognose. Es gilt daher, die Bestimmtheit entsprechend dem eigenen Kenntnisstand so zu wählen, dass zu jeder Phase eines Projektes Aussagen über Kosten und Risiken mit adäquater Sicherheit gemacht werden können.

Die Verwendung von unscharfen Informationen bei der Risikobewertung wird als sinnvoll angesehen, da für die meisten Projektrisiken mehr als nur eine Ergebnisabweichung bei Eintritt des Risikos in Frage kommt. Zudem

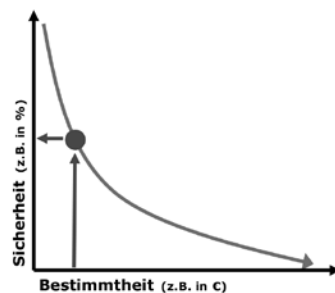


Abbildung 3: Verhältnis Sicherheit und Bestimmtheit bei Prognosen

⁶ Rohr, M.; Beckefeld, P. „Einführung eines Risikomanagementsystems als effektives Steuerungsinstrument im Bauunternehmen“, Artikel, www.risknews.de, Ausgabe 03.2003, Seite 36–44

⁷ Rescher, N. „Wissenschaftlicher Fortschritt“, Fachbuch, Walter de Gruyter, 1982

zeigen Praxiserfahrungen, dass den Verantwortlichen die Bestimmung eines einzelnen Wertes oftmals schwieriger fällt als die Angabe einer Bandbreite. Bier fasst die Einsatzmöglichkeiten von probabilistischen Risiko-Analysen in einigen Punkten zusammen:⁸

- Probabilistische Risiko-Analysen erlauben bei komplexen Systemen im Ingenieursektor die Modellierung von Abweichungen gegenüber dem Normalbetrieb.
- Mittels probabilistischer Risiko-Analysen lässt sich ein ganzheitliches Systemverhalten beschreiben, welches auch das Verhalten von Subsystemen zueinander inkludiert.
- Weiterführend lassen sich im Idealfall die einzelnen Schadensbilder aus verschiedenen zusammenhängenden Systemen identifizieren und differenzieren.
- Probabilistische Risiko-Analysen gewährleisten quantitative Risiko-Einschätzungen, was zu einer besseren Entscheidungsgrundlage führt.
- Probabilistische Risiko-Analysen berücksichtigen

Unschärfen in ihrem Ergebnis. Dies ist besonders dann von Vorteil, wenn statistische Daten über mögliche Schadensbilder nur spärlich vorliegen und daher eine große Unsicherheit besteht.

- Auf Basis des Mehrwerts an gewonnenen Informationen über die risikoverursachenden Elemente lassen sich gezielte Gegensteuerungsmaßnahmen entwickeln.

4. Beispiel

Im folgenden Beispiel handelt es sich um ein Ereignisbaumszenario. Im ersten Schritt wird die Eintrittswahrscheinlichkeit bewertet:⁹

Beim Ausbau eines Speichersees für ein Wasserkraftwerk wird in der Kostenberechnung der Neubau einer Baustraße zum Speichersee vorgesehen. Der Neubau der Baustraße ist in der Kostenberechnung mit 1.000.000 € angesetzt. Auf Grund genehmigungsrechtlicher Gründe wurde ein Risiko von 40 % angesetzt, dass der Bau der Straße nicht genehmigt wird. In diesem Falle (Eintritt des Risikos) stehen zwei Alternativen zur Verfügung:

1. Nutzung und Ausbau einer vorhandenen, teilweise öffentlichen Straße zum Spei-

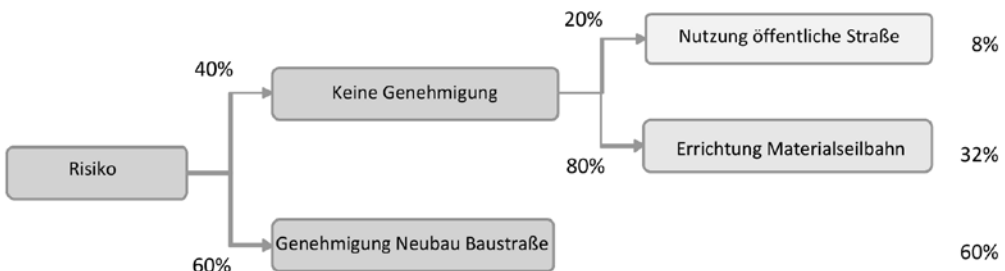


Abbildung 4: Szenario Ereignisbaum

⁸ Bier, V. M. „An Overview of Probabilistic Risk Analysis for Complex Engineered Systems“, Artikel, in: „Fundamentals of Risk Analysis and Risk Management“, Vlasta Molak (Hrsg.), Lewis Publishers, 1997, Chapter 1,5

⁹ Sander, P.; Spiegl, M. „Der Trugschluss der exakten Zahl – Fortschrittliche Wege zur Kosten- und Risikoanalyse“, Artikel, in: bauaktuell, Nr. 2, März 2011, Seite 65–69

chersee. Die Wahrscheinlichkeit dafür wird auf nur 20 % geschätzt.

- Bei nicht erfolgreicher Genehmigung zur Nutzung der öffentlichen Straße muss eine Materialseilbahn für die Bauzeit errichtet und betrieben werden. Dies wäre die teuerste Variante, da hier Bau und Betrieb der Materialseilbahn zu Buche schlagen würden.

Das Szenario lässt sich als Ereignisbaum grafisch darstellen (siehe Abb. 4, Seite 13).

In 60 % der Fälle tritt das Risiko gar nicht ein, d. h. es entstehen keine abweichenden Kosten zur Kostenberechnung. In diesem Fall würde dies bedeuten, dass die Position „Neubau Baustraße“, die mit 1.000.000 € angesetzt ist, zum Tragen kommt. Für jedes der drei Szenarien lässt sich über Multiplikation der einzelnen Äste eine Eintrittswahrscheinlichkeit (EW) errechnen, die für die probabilistische Berechnung der Risikokosten für jedes Szenario eingesetzt wird.

Im 2. Schritt sind die Kosten für die zwei abweichenden Szenarien (Nutzung öffentliche Straße und Errichtung Materialseilbahn – zusammen 40 % EW) monetär zu bewerten. Bei nicht erfolgter Genehmigung tritt eines der beiden Szenarien ein. Dabei entfallen auf jeden Fall die in der Kostenberechnung ent-

haltenen Kosten für die geplante Baustraße. Es entstehen somit für diese beiden Szenarien auf Projektkostenebene (ohne Life-Cycle Betrachtung) erst einmal Minderkosten von 1.000.000 €.

Wie bei einer Kostenermittlung werden die Risikoszenarien mit jeweils mehreren Kostenpositionen bewertet, die wiederum jeweils detailliert mit Menge und Preis beschrieben werden können. Für die genannten Szenarien wurden vereinfacht folgende pauschale Kostenpositionen angesetzt.

Szenario Nutzung öffentliche Straße EW = 8 % (siehe Tab. 2):

Die Modellierung der Bandbreite der Werte (min – erw – max) erfolgt in den meisten Fällen ausreichend genau mit einer Dreiecksfunktion.



Szenario Errichtung Materialseilbahn EW = 32 % (siehe Tab. 3):

Für die Beispielszenarien sind die Werte stark vereinfacht dargestellt. Generell ist eine detailliertere Ausarbeitung zu empfehlen. Nach Simulation erhält man folgendes Ergebnis als Wahrscheinlichkeitsverteilung:

Tabelle 2: Szenario Nutzung öffentliche Straße EW = 8 %

Kostenposition	Einheit	Funktion	Min. [€]	Erw. [€]	Max. [€]
Entfall Neubau Baustraße	PA	Dreieck	-1.000.000	-1.000.000	-1.000.000
Ausbau Bestandsstraße	PA	Dreieck	467.500	550.000	880.000

Tabelle 3: Szenario Errichtung Materialseilbahn EW = 32 %

Kostenposition	Einheit	Funktion	Min. [€]	Erw. [€]	Max. [€]
Entfall Neubau Baustraße	PA	Dreieck	-1.000.000	-1.000.000	-1.000.000
Bau und Betrieb Materialseilbahn	PA	Dreieck	1.912.500	2.250.000	2.925.000

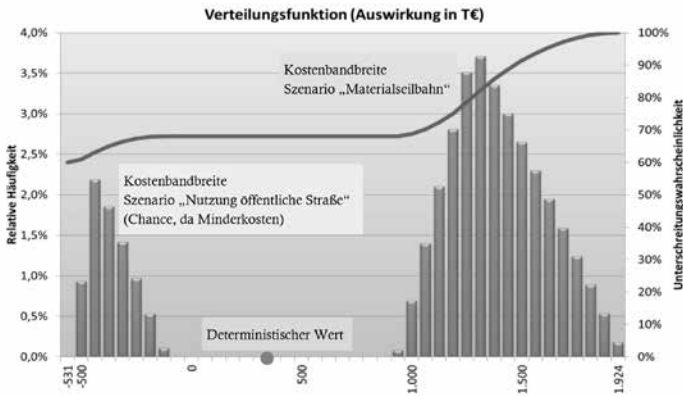


Abbildung 5

Abbildung 5: Wahrscheinlichkeitsverteilung als Simulationsergebnis

Gut zu erkennen ist, dass die Verteilungsfunktion (rote Linie) erst bei 60 % Unterschreitungswahrscheinlichkeit startet. Unterhalb tritt das Risiko nicht ein, bzw. realisiert sich die Kostenermittlung. Es zeigen sich zwei Verteilungen innerhalb der Gesamtverteilung. Diese lassen sich hier noch den beiden Szenarien zuordnen – links das Szenario „Nutzung öffentliche Straße“ rechts das Szenario „Errichtung Materialseilbahn“. Das Flächenverhältnis ist Indikator für die Eintrittswahrscheinlichkeit der Szenarien und spiegelt deren Verhältnis wieder: 8 % zu 32 % oder 1 zu 4.

Die X-Achse zeigt die mögliche Kostenbandbreite für die beiden Szenarien an. Die Bandbreite des Szenarios „Nutzung öffentliche Straße“ besteht nur aus Minderkosten, da die eingesparten 1.000.000 € aus der nicht ausgeführten Baustraße nicht komplett durch die Kosten für die Aufrüstung der Bestandsstraße aufgezehrt werden. Die Bandbreite liegt zwischen einem Ersparnis gegenüber der Kostenberechnung von ca. -100.000 €

bis ca. -530.000 €. Am Wahrscheinlichsten ist der Betrag mit der größten Häufigkeit innerhalb der Bandbreite (ca. -400.000 €).

Die Bandbreite des Szenarios „Errichtung Materialseilbahn“ reicht von ca. 900.000 € bis ca. 2.000.000 €. Allerdings sind hier Mehrkosten gegenüber der Kostenermittlung dargestellt, da der Bau und Betrieb der Materialseilbahn deutlich

mehr kostet als die Ersparnis aus dem Entfall der Baustraße. Der wahrscheinlichste Wert für dieses Szenario liegt bei ca. 1.300.000 € Mehrkosten.

Abbildung 6: Darstellung der Szenarios mit der Software RIAAT¹⁰

Das Beispiel verdeutlicht, wie sich auch komplexere Szenarien mittels Anwendung der Probabilistik recht gut veranschaulichen lassen, bei denen im Gegenzug eine deterministische Ermittlung bereits im Ansatz scheitert. Zum Vergleich würde eine deterministische Berechnung für das o. a. Szenario folgendes Ergebnis auswerfen:

$$\begin{aligned}
 & 8 \% \quad \times \quad (-1.000.000 \text{ €} + 550.000 \text{ €}) \\
 + & 32 \% \quad \times \quad (-1.000.000 \text{ €} + 2.250.000 \text{ €}) \\
 + & 60 \% \quad \times \quad 0 \text{ €} \\
 = & -36.000 \text{ €} + 400.000 \text{ €} + 0 \text{ €} \\
 = & 364.000 \text{ €}
 \end{aligned}$$

Diese eine deterministische Zahl liegt in einem Wertebereich, der nach probabilistischer Analyse überhaupt nicht eintreten kann. Die

¹⁰ RIAAT Bedienungsanleitung [unveröffentlicht], 2013, Mehr Information unter www.riskcon.at/riaat.php

realen möglichen Kosten liegen entweder weit darüber oder auch weit darunter, wie es das Ergebnis der probabilistischen Analyse veranschaulicht (Abbildung 6). Der geringe Informationsgehalt der „beschränkten“ deterministischen Ermittlung im Sinne exakter Prognosen führt hier zwangsläufig zu einem grundlegend falschen Ergebnis – obwohl die Berechnung formell mathematisch nicht falsch ist – auf dessen Basis unbewusst Fehlentscheidungen getroffen werden könnten.

5. Zusammenfassung

Jede Kostenprognose ist mit Unschärfen be-

haftet, so dass vor dem Hintergrund einer Budgetsicherheit des Auftraggebers mit adäquaten Methoden und Hilfsmitteln begegnet werden muss. Probabilistische Methoden zur Verbesserung der Prognosesicherheit sind in vielen Wirtschaftszweigen seit Jahren etabliert. Im Bausektor wurde dieser Schritt in unseren Breiten bisher noch nicht vollzogen, obwohl die Methode grundsätzlich als „state of the art“ bezeichnet werden kann. Gerade bei der Produktion von Prototypen – was Bauprojekte nun einmal sind – bei welchen die Kosten und vor allem Risiken mit großen Unschärfen behaftet sind, empfiehlt sich zukünftig dringend diesen Schritt zu gehen.

Abbildung 6

